

19. FRENCH REPUBLIC  
 MINISTRY OF TRADE AND INDUSTRY  
 NATIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL PROPERTY  
 Paris

11. Publication-NR. 2 705 791

(to be used only for the  
 ordering of copies)

21. National Reg.-NR. 93 06450

51. Int. Cl<sup>5</sup>. G 01 T 1/24, H 01 L 31/115, 31/022

12. APPLICATION FOR A PATENT OF INVENTION A1

<b>22. Date of submission:</b> 28/05.93	<b>71. Applicant(s):</b> SCHLUMBERGER INDUSTRIES (SA) - FR
<b>30. Priority:</b>	<b>72. Inventor(s):</b> Giboni Karl and Felix Cecilia
<b>43. Date of disclosure of the application to the public:</b> 02.12.94 Bulletin 94/48	<b>73. Owner(s):</b>
<b>56. List of documents listed in the preliminary research report:</b> see at the end of this brochure	<b>74. Proxy:</b> Dupont Henri Schlumberger Industries
<b>60. References to other related national documents:</b>	

54. X-ray detector for eliciting selective energy-dependent responses

57. X-ray detector with semiconductor for eliciting selective energy-dependent responses, consisting of a semiconductor bloc (20) with two lateral surfaces (24, 26) while the first surface (24) is covered with a series of electrodes (28a, 28b ... 28), in the form of elongated bands of various widths, said electrodes being arranged in the increasing order of their widths, the electrode (28a) which is smallest in width being adjacent to surface (22) which receives the X-rays, the second lateral surface (26) being covered with at least an electrode (30).

Application: for the inspection, the control, the supervision, or the characterization of objects.

The object of this invention is a semi-conductor fitted X-ray detector for the eliciting of energy-dependent selective responses. In particular it is applicable in the field of imagery for the inspection, the control or the supervision of objects.

In similar applications, apart from the variations of the global intensity of the beam of X-rays during its passage through the inspected object, it is useful to also measure the spectral variations of the beam, in order to characterize the chemical composition of the inspected object, and this with an increased speed.

The currently used measurement orders of magnitude, of 10 MHz, do not permit the classical spectroscopic measurements performed by means of a spectroscopic detector jointly with a multi-channel electronic system, for the analysis of each X photon absorbed by the detector. This is why generally, only calorimetric measurements are performed, in other words, only the total energy passing through the inspected object, is measured over a determined duration.

In similar conditions, in order to carry out the spectral measurements, several stacked-up calorimetric detectors are used in the known manner, the individual detectors having a different energy-related response function.

In this manner, the individual detectors act as filters for the subsequent detector in the stack, such as each detector is sensitive to a given range of energy. The first detector in the stack is sensitive to low energies, and the subsequent detectors are sensitive to increasingly high-energy ranges.

A similar stack of detectors is shown in a schematic representation in Fig. 1.

The figure shows that the stack comprises several semiconductor blocs 10a, 10b ..., with increasing widths. Those blocs can be made of CdTE. The bloc with the

smallest width, 10a, is located in the path of the beam of X-rays. For the individual blocs, an electrode (to make the representation more clear, only the electrodes 12, 14 of the first bloc 10a are shown in the figure) covers the opposite surfaces through which passes the beam.

The electric potential difference between the electrodes 12 through which the X-ray beam enters, and the electrodes 14, through which the beam exists, is comprised in a range of a few volts up to several hundreds of volts. The magnitude of this electric potential difference depends of the chosen semiconductor.

One of the electrodes 12 or 14 of each detector is also connected to a current amplifier for the measurement of the amount of the charges released by the individual detectors under the X-photon bombardment.

The use of a similar stack for the eliciting of energy-dependent selective responses has some inconveniences.

The commercially available bloc of semiconductors, made of CdTe or a similar material, have their surfaces covered with electrodes of maximum  $10 \times 10 \text{ mm}^2$ . Their thickness, owing to technological and manufacturing requirements, is comprised in a range from 0.5 to 4 mm.

However, the energy-sensitivity of a semiconductor bloc in a stack depends, inter alia, on the thickness of the bloc. The fact that the minimum thickness of the bloc is 0.5 mm limits the selectivity in the range of low energies. For a detector made of CdTe, the minimum desired thickness is of 0.05 mm for sensitivity in a range of energies from 20 to 30 kev.

It was shown that in the known stacks, the surfaces of the different semiconductor blocs covered with electrodes, are placed across one another. Owing to the mass of electrodes having different electric potentials, a short-circuit or an electric fuse may occur between two adjacent electrodes; the individual blocs can be separated from their neighbors by a minimum distance, or alternatively, an insulation can be provided to separate the electrodes from the adjacent electrodes.

The reliability of the measurement is reduced owing to the absorption of the radiation in those insulation components.

On the one hand, the connections used to bring the electrodes to the desired electric potentials requires very delicate means, as such connections need to be arranged within the spaces between the blocs without creating short-circuits or fusing between the wires, or with the electrodes.

Therefore, it is understandable that in spite of its apparent simplicity, the implementation of the known stacks is a delicate operation, which is not easily implemented.

In addition, it follows that for certain applications, it becomes necessary to arrange a thousand or so stacks one next to the other. The larger the number of juxtaposed stacks, the greater the problems and the inconveniences.

The present invention allows the circumventing of these inconveniences. It has the advantage of simplicity jointly with increased efficiency. Actually, a significant range of energies can be detected with an efficiency of several percents at low energy (tens of kev), up to 70% for energy values of hundred kev or more.

In addition, the connection to electric potential generators presents no problems whatsoever.

More precisely, the invention relates to a semiconductor-fitted X-ray detector for the eliciting of energy-dependent selective responses. The detector comprises:

- a parallelepiped -shaped semiconductor bloc, with a frontal surface, receiving the X-rays, while the bloc has also first and second lateral surfaces, opposite one another, the first lateral surface being covered with electrodes electrically insulated one from another, in the shape of elongated bands, while these electrodes are of different widths and are arranged in the increasing order of their width, the electrode of the lesser width being arranged opposite the front surface, while the second lateral surface is covered with at least an electrode.

In particular, the semiconductor material the bloc is made of has an effective atomic number, Z effective, bigger than, or equal to, 30.

Preferably, the semiconductor material is may be CdTe, CdZnTe or HgI<sub>2</sub>.

According to one of the alternate executions, the electrodes in shape of elongated bands are cut out in columns, which are electrically insulated one from another.

According to another alternate execution, the electrode covering the second lateral surface is made of conductor columns electrically insulated one from another.

The reader shall better understand the invention with the help of the description thereunder, which is explanatory rather than exhaustive, with reference also to the attached figures:

- Fig. 1, which was already described, is a schematic representation of a stack of detectors, of the former execution;

- Fig. 2A is schematic representation of a perspective view of a detector according to the invention;
- Fig. 2B, is a schematic representation of a perspective view of a detector according to the invention, under a different angle from that in Fig. 2 A;
- Fig. 3 is a schematic representation of an alternative execution of a detector according to the invention;
- Fig. 4 is a schematic representation of another alternative execution of a detector according to the invention.

Figs. 2A and 2B are schematic representations of a couple of perspective views, under two different angles, of a detector according to the invention.

A similar detector consists of a semiconductor bloc 20. The bloc can be in shape of a parallelepiped, a rectangle or a square.

In the example shown in figs. 2A and 2B, it has a rectangular front surface 22, that receives the X-rays.

In particular, the semiconductor material the bloc 20 is made of, has an effective atomic number,  $Z_{\text{effective}}$ , equal to, or bigger than, 30.

The material can be  $\text{CdTe}$ ,  $\text{Cd} (1-x)$ ,  $\text{Zn}_x\text{Te}$ , with  $x \leq 0.2$

With the material  $\text{CdTe}$ , for instance, commercially available semiconductor blocs can be used, the sides being  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  and the thickness, 2 mm (the thickness is also the width of the front surface).

The bloc 20 has two lateral surfaces 24, 26 opposite one to another, and adjacent to the front surface 22. The surfaces 24 and 26 are here adjacent to the length of the front surface 22. All are covered with electrodes.

The first lateral surface 24 shown in Fig. 2A is covered with 10 electrodes 28a ... 28j electrically insulated one from another, each corresponding to a detection zone

sensitive to a particular range of energy. The number of electrodes depends on the number of the ranges of energy aimed at by the user, and the number "10" is given only informatively.

The electrodes 28 a ... 28j are each in shape of an elongated band. They are of various widths and are arranged on surface 24 in the increasing order of their widths.

The electrode 28a, of the smallest width, is juxtaposed to the X-ray receiving front surface 22.

For a given semiconductor material, the width of an electrode, taken in relation to its position in a succession of bands, shall determine the sensitivity of the zone defined by the electrode, at such or such energy range. The choice of various widths can be ascertained based on a level of interaction between the detectors.

The use of ten CdTe detectors is possible with widths ranging from 20  $\mu$ m to 1 cm.

The electrodes 28a ... 28j are, for instance, made of gold. They can be manufactured with any known coating method of the semiconductor material, while finally a layer of 0.1 micrometer in thickness is obtained on the respective surface. The layer can be applied also with an electrochemical method.

The elongated bands can be cut out following the application of the layer, by means of an electric saw. In particular, the bands are achieved during the course of coating through lithography, while with the aid of a screen, a sufficient distance is preserved between the bands, in order to ensure the electric insulation between the bands.

The lateral surface 26, shown in Fig. 2B, is completely covered with an electrode 30. That electrode can also be made of gold. Same as described above, any known technique of coating of the semiconductor material selected can be used

The X-ray beam, designated with "X" in the figures, enters the detector through the front face 22. The semiconductor bloc 20 is polarized under the effect of an electric potential difference applied between the individual electrodes 28a ... 28j on the one hand, and the electrode 30 on the other hand. Through photo-absorption, each X photon becomes the origin of the creation of a free electron in the bloc. The length of the path of a photon X in the semiconductor sector depends on its energy. In this way, the greater the energy of the photon X, the larger becomes its length of penetration.

Over the course of their path, the free electrons generate a significant number (of the order of 10,000) of pairs of "electron holes", through ionization, In this manner, every photo-absorption of a photon X produces a positive or a negative electric signal, depending on whether the signal is measured at the level of the electrode having a positive potential or that having a negative potential. The lines of the polarization field being under a right angle to the lateral surfaces 24, 26, the path of the electrons (or the holes) in the thickness of the semiconductor bloc 20, takes place under a right angle to the lateral surfaces 24, 26. Consequently, the generated signal is located in the depth of the sector, while this location corresponds to the energy of the absorbed X photon.

That is why every electrode 28a ... 28j, in the shape of an elongated band, according to the length of the frontal surface 22, defines a sector corresponding to a zone sensitive to a defined range of energy. The widths of the bands are dissimilar, and are crescent-shaped, as the relation between the energy of a photon and the average path covered prior to a photo-absorption is not linear. In order to generate the polarization of the semiconductor, the electrode 30 is brought to an electric potential V, ranging from 10 to 100 volts; in this case, the

electrodes 28a, ..., 28j are brought to a potential which is very similar to the mass potential.

Contrary to the former spectroscopic measuring instruments, where one measures the electronic charge created by the individual photons, with the device according to the invention, time-integrated measurements are carried out, in other words: One measures the electric charge collected by the individual electrodes 28a, ..., 28j, during successive periods, e.g. of the order of 10 ms.

An example of a measuring device of a like electric potential is shown in Fig. 2A, only for electrode 28j, but it is clear that each electrode 28a, ... 28i is connected to a device of a similar type.

The wires connecting the electric potential measuring devices to the electrodes are soldered through ultrasound or heat. Owing to the placement of the electrodes 28a, ..., 28j on the lateral surface 24, said connections could be achieved without any difficulty. In addition, as the lateral surface 24 is not in the vicinity of another electrode, there is no risk of a short-circuit.

The electric current measuring device comprises an integrator composed of an electric current amplifier 34 connected to a condenser 32. A circuit breaker 37 is connected to the condenser 32.

When the circuit breaker 36 is closed, charging of the condenser 32 occurs; the circuit breaker 37 is open.

Condenser 32 discharges when the circuit breaker 36 is open and the circuit breaker 37 closed.

The signal corresponding to the measured intensity is supplied at the exit of the amplifier.

In figs. 2A and 2B the shown device has a frontal surface 22 which receives the X-rays, and corresponds to a pixel (that pixel having different, energy-dependent selective responses).

The rectangular face has dimensions ranging from 1 to 2 mm in width, and 1 and 10 mm in length.

With the device shown in Fig. 3, the big length of the frontal surface is used to obtain several pixels (each having energy-dependant selective responses according to the invention).

In Fig. 3 it is shown that the electrodes, in the shape of elongated bands, are cut out in columns, electrically insulated one from another. This cut out can be achieved with an electric saw or even through lithography, during the application of the conducive layer.

In this way the electrodes 28aa, 28ab, ..., 28 ba, 28bb, ... are obtained in shape of paving stones. These conducive paving stones are arranged in lines, the "stones" in the same line being of the same width, while the "stones" in the same column correspond to the same pixel, and are sensitive to the different ranges of energy.

In the examples of execution shown in figs. 2A, 2B, 3, electrode 30 covers totally the lateral surface 26 of the semiconductor bloc 20.

Fig. 4 represents another alternative execution, where the electrode covering the surface 26 is cut out in columns 30a, 30b.... which are electrically insulated one from another. In this way both pixels and columns are obtained.

With the device according to the invention, energy-depending selective response can be elicited without the problems related to the former executions.

In particular, the electrodes of the different sectors corresponding to the various ranges, are not arranged opposite one another, and in this way the risk of short-circuits is eliminated, the realization of the detector is facilitated, and the connections with the joint measuring systems and the electric potential generators are easy to achieve.

On the other hand, a like detector, e.g. in the variant shown in Fig. 3, can be used jointly with other detectors of the same type, to make up a pin of about a thousand pixels. The said pins are used to achieve a control, an inspection and supervision imagery. An object subjected to a beam of X-rays is passed before the pin. The latter supplies a signal corresponding to a line of the image (actually, an image line for each and every detected energy range. The complete image is reconstituted line by line.

With the former stacks and the electric connection involved, the size of the detectors, the assembly difficulties constitute factors reducing the performance of the pins.

According to the invention, the detectors are perfectly adapted to a linear arrangement, sector by sector, while the connections are executed on the lateral surfaces which were left free.

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

**11 N° de publication :**

21 N° d'enregistrement national : 93 06450

51 Int Cl<sup>5</sup> : G 01 T 1/24, H 01 L 31/115, 31/022

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 28.05.93.

30 Priorité :

71 Demandeur(s) : SCHLUMBERGER INDUSTRIES  
(S.A.) — FB.

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 02.12.94 Bulletin 94/48.

**56** **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Se reporter à la fin du présent fascicule.**

**60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

72 Inventeur(s) : Giboni Karl et Felix Cécilia.

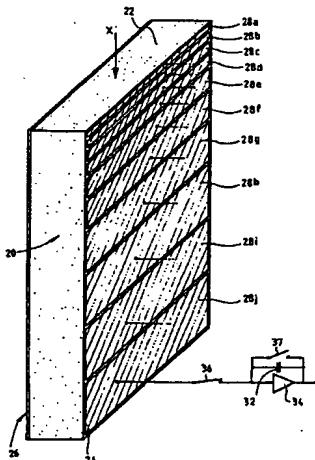
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : Dupont Henri Schlumberger Industries.

#### 54) DéTECTEUR de rayons X pour l'obTENTION de réPONSES séLECTiVES en éNERGie.

57 Détecteur de rayons X à semiconducteur pour l'obtention de réponses sélectives en énergie comprenant un bloc semiconducteur (20) possédant deux faces latérales (24, 26), la première face (24) étant recouverte par une série d'électrodes (28a, 28b,..., 28i) en forme de bandes allongées ayant des largeurs différentes, ces électrodes étant rangées par ordre de largeurs croissantes, l'électrode (28a) de plus faible largeur jouxtant la face avant (22) réceptive des rayons X, la seconde face latérale (26) étant recouverte par au moins une électrode (30).

Application à l'inspection, le contrôle, la surveillance ou la caractérisation d'objets.



La présente invention a pour objet un détecteur de rayons X à semiconducteur pour l'obtention de réponses sélectives en énergie. Elle s'applique notamment au domaine de l'imagerie réalisée pour l'inspection, le contrôle ou la surveillance  
5 d'objets.

Dans les applications de ce type, outre les variations de l'intensité globale du faisceau de rayons X à la traversée de l'objet inspecté, il est aussi utile de mesurer les variations  
10 spectrales du faisceau afin de pouvoir caractériser la composition chimique de l'objet inspecté et ceci à grande vitesse.

Les taux de comptage couramment utilisés, de l'ordre de 10  
15 MHZ rendent impossible des mesures spectroscopiques classiques effectuées à l'aide d'un détecteur spectroscopique associé à une électronique multicanaux qui analyse l'énergie de chaque photon X absorbé par le détecteur. C'est pourquoi généralement seules des mesures calorimétriques sont  
20 réalisées, c'est à dire que seule l'énergie totale ayant traversé l'objet inspecté pendant une durée déterminée est mesurée.

Dans ces conditions, pour réaliser des mesures spectrales, on utilise de manière connue plusieurs détecteurs  
25 calorimétriques empilés, chacun de ces détecteurs présentant une fonction de réponse différente en énergie.

De cette manière, chaque détecteur joue le rôle de filtre pour le détecteur suivant dans l'empilement, de sorte que chaque  
30 détecteur est sensible à une gamme d'énergie donnée. Le premier détecteur de l'empilement est sensible aux basses énergies, les détecteurs suivants étant successivement sensibles à des gammes d'énergies de plus en plus hautes.

35 Un tel empilement de détecteurs est représenté schématiquement sur la figure 1.

Comme on peut le voir sur cette figure, l'empilement comprend plusieurs blocs semiconducteurs 10a, 10b, ... , d'épaisseurs croissantes. Ces blocs peuvent être en CdTe. Le bloc de moindre épaisseur 10a est placé en premier sur le

5 parcours du faisceau de rayons X. Pour chaque bloc, les faces opposées traversées par le faisceau sont recouvertes d'une électrode (seules les électrodes 12, 14 du premier bloc 10a sont représentées pour des raisons de clarté du schéma).

- 10 La différence de potentiel entre les électrodes 12 par lesquelles pénètre le faisceau de rayons X et les électrodes 14 par lesquelles ressort le faisceau est comprise dans une gamme pouvant aller de quelques Volts à quelques centaines de Volts. La valeur de cette différence de potentiel dépend 15 du semiconducteur choisi.

Une des électrodes 12 ou 14 de chaque détecteur est aussi connectée à un amplificateur de charge pour mesurer la quantité de charges libérée dans chaque détecteur sous

20 l'effet du bombardement de photons X.

L'utilisation d'un tel empilement pour obtenir des réponses sélectives en énergie comporte des inconvénients.

- 25 Les blocs semiconducteurs, en CdTe ou équivalent, disponibles commercialement présentent des surfaces recouvertes par les électrodes de  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  au maximum. Leur épaisseur, imposée par des nécessités technologiques et de fabrication, est comprise dans une gamme allant de 0,5 à 4 mm.

30 Or la sensibilité en énergie d'un bloc semiconducteur dans un empilement est dépendante, entre autres choses, de l'épaisseur du bloc. Le fait que l'épaisseur minimum du bloc soit de 0,5 mm limite la sélectivité dans les basses énergies.

35 Pour un détecteur en CdTe, l'épaisseur minimum souhaitée est de l'ordre de 0,05 mm pour une sensibilité à une gamme

d'énergie allant de 20 à 30 kev.

On a vu que dans les empilements connus, les faces des différents blocs semiconducteurs recouvertes par les

5      électrodes sont placées en vis à vis. La promiscuité des électrodes portées à des potentiels différents entraîne des risques de court-circuit ou d'amorçage entre deux électrodes voisines; chaque bloc doit donc être séparé de ses voisins par une distance minimale, ou être muni d'isolant séparant les

10     électrodes des détecteurs adjacents.

L'efficacité de la mesure est réduite par les absorptions de radiation dans ces parties isolantes.

D'autre part, la mise en place des connexions servant à

15     porter les électrodes aux potentiels souhaités est aussi délicate puisque ces connexions doivent être logées dans les espaces interblocs sans créer de court circuit ou d'amorçage entre les fils ou avec les électrodes.

On comprend donc que malgré son apparence simplicité, la

20     réalisation des empilements connus est une opération délicate et difficile à mettre en oeuvre.

De plus, il arrive que pour certaines applications, il soit nécessaire de placer côté à côté un millier d'empilements.

25     Les problèmes et inconvénients sont d'autant plus importants que le nombre d'empilements à juxtaposer est grand.

La présente invention permet de pallier ces inconvénients.

30     Elle possède l'avantage de la simplicité allié à la haute performance. En effet, un grand nombre de gammes d'énergie peuvent être détectées, avec une efficacité de détection de quelques pourcents à basse énergie (dizaine de kev) jusqu'à environs 70% pour des énergies de l'ordre de la centaine de kev ou plus.

De plus, les connexions aux générateurs de potentiel ne posent pas de problème.

- 5 De manière plus précise, l'invention concerne un détecteur de rayons X à semiconducteur pour l'obtention de réponses sélectives en énergie. Ce détecteur comprend:
- un bloc semiconducteur parallélépipèdique comportant une face avant apte à la réception de rayons X, le bloc possédant en outre des première et seconde faces latérales en vis à vis et contiguës à la face avant, la première face latérale étant recouverte par des électrodes électriquement isolées les unes des autres en forme de bandes allongées, ces électrodes possédant différentes largeurs et étant rangées par ordre de largeur croissante, l'électrode de plus faible largeur jouxtant la face avant, la seconde face latérale étant recouverte par au moins une électrode.
- 10 Avantageusement, le matériau semiconducteur constituant le bloc possède un numéro atomique effectif,  $Z$  effectif, supérieur ou égal à 30.
- 15 20 De manière préférée, le matériau semiconducteur est choisi parmi CdTe, CdZnTe, HgI<sub>2</sub>.
- 25 Selon une variante, les électrodes en forme de bandes allongées sont découpées en colonnes électriquement isolées les unes des autres.
- 30 Selon une autre variante, l'électrode recouvrant la seconde face latérale est constituée de colonnes conductrices électriquement isolées les unes des autres.
- 35 L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, donnée à titre explicatif et non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels:
- la figure 1, déjà décrite, représente schématiquement un empilement de détecteurs conforme à l'art antérieur,

- la figure 2A représente schématiquement une vue en perspective d'un détecteur conforme à l'invention;
  - la figure 2B représente schématiquement une vue en perspective, sous un angle différent de celui de la figure 2A,
- 5 d'un détecteur conforme à l'invention;
- la figure 3 représente schématiquement une variante de réalisation d'un détecteur conforme à l'invention.
  - la figure 4 représente schématiquement une autre variante de réalisation d'un détecteur conforme à l'invention.
- 10 Les figures 2A et 2B représentent schématiquement deux vues en perspective selon deux angles différentes d'un détecteur conforme à l'invention.
- 15 Un tel détecteur comporte un bloc semiconducteur 20. Ce bloc peut prendre la forme d'un parallélépipède rectangle ou carré.
- Sur l'exemple représenté sur les figures 2A et 2B, il possède une face avant 22 rectangulaire apte à la réception des
- 20 rayons X.
- Le matériau semiconducteur constituant le bloc 20 possède avantageusement un numéro atomique effectif, Z effectif, supérieur ou égal à 30.
- 25 Il est par exemple choisi parmi CdTe, Cd<sub>(1-x)</sub> Zn<sub>x</sub>Te avec x ≤ 0,2.
- Avec le CdTe, on peut utiliser par exemple des blocs semiconducteurs commercialement disponibles et présentant des dimensions de 10 x 10 mm<sup>2</sup> pour les côtés et 2 mm d'épaisseur (l'épaisseur est aussi la largeur de la face avant).
- 30 Le bloc 20 possède deux faces latérales 24, 26 en vis à vis et contiguës à la face avant 22. Les faces 24 et 26 sont ici les faces adjacentes à la longueur de la face avant 22. Elles sont
- 35 chacune recouvertes par des électrodes.
- La première face latérale 24 visible sur la figure 2A est

- recouverte par dix électrodes 28a, ..., 28j isolées électriquement les unes des autres et correspondant chacune à une zone de détection sensible à une gamme d'énergie particulière. Le nombre d'électrodes dépend du nombre de 5 gammes d'énergie désiré par l'utilisateur et le nombre dix n'est donné qu'à titre illustratif.
- Les électrodes 28a, ..., 28j présentent chacune une forme de bande allongée. Elles possèdent différentes largeurs et sont rangées sur la face 24 par ordre de largeur croissante, 10 l'électrode 28a de plus faible largeur jouxtant la face avant 22 receptrice des rayons X.
- Pour un matériau semi-conducteur donné, la largeur d'une 15 électrode, considérée en relation avec sa position dans la succession des bandes, va déterminer la sensibilité de la zone délimitée par l'électrode à telle ou telle gamme d'énergie.
- Le choix des différentes largeurs peut être déterminé à partir du taux d'interaction dans les détecteurs. L'utilisation de dix détecteurs en CdTe peut s'effectuer avec des largeurs variant par exemple de 20  $\mu\text{m}$  à 1cm. 20
- Les électrodes 28a, ..., 28j sont par exemple en or. Elles peuvent être réalisées par toute technique connue de dépôt sur le matériau semi-conducteur choisi qui aboutisse à la 25 réalisation d'une couche de 0,1 micromètre d'épaisseur sur la face considérée. Le dépôt peut être par exemple du type électrochimique.
- Les bandes allongées peuvent être découpées une fois le dépôt réalisé, à l'aide d'une scie à fil. Préférentiellement, 30 elles sont réalisées lors du dépôt par lithographie, un masquage assurant une distance entre les bandes suffisante pour assurer l'isolation électrique entre les bandes.
- La face latérale 26, visible sur la figure 2B est entièrement 35 recouverte par une électrode 30. Cette électrode peut, elle

aussi, être en or. De même que précédemment, toute technique connue de dépôt sur le matériau semiconducteur choisi peut être utilisée.

- 5 Le faisceau de rayons X, référencé par la lettre X sur les figures, pénètre le détecteur par la face avant 22. Le bloc semiconducteur 20 est polarisé sous l'effet d'une différence de potentiel appliquée entre chaque électrode 28a, ..., 28j d'une part et l'électrode 30 d'autre part.
- 10 Par photoabsorption, chaque photon X est à l'origine de la création d'un électron libre dans le bloc. Le longueur du trajet d'un photon X dans la tranche semiconductrice est dépendante de son énergie. Ainsi, un photon X pénètre d'autant plus profondément dans la tranche qu'il possède
- 15 une énergie élevée.

Lors de leur trajet, les électrons libres engendrent un grand nombre (de l'ordre de 10000) de paires "électron-trou" par ionisation.

- 20 De cette manière, chaque photoabsorption d'un photon X donne lieu à un signal électrique positif ou négatif selon qu'on mesure le signal au niveau de l'électrode portée à un potentiel positif ou de celle portée à un potentiel négatif.. Les lignes de champ de polarisation étant perpendiculaires
- 25 aux faces latérales 24, 26, le trajet des électrons (ou des trous) dans l'épaisseur du bloc semiconducteur 20 s'effectue sensiblement perpendiculairement aux faces latérales 24, 26. Donc le signal engendré est localisé dans la profondeur de la tranche, cette localisation correspondant à l'énergie du
- 30 photon X absorbé.
- C'est pourquoi chaque électrode 28a, ..., 28j en forme de bande allongée selon la longueur de la face avant 22 délimite un secteur correspondant à une zone sensible à une gamme d'énergie déterminée. Les largeurs des bandes ne sont pas égales et vont croissant car la relation liant l'énergie d'un
- 35

photon et le trajet moyen parcouru avant une photoabsorption n'est pas linéaire.

Pour créer la polarisation du semiconducteur, l'électrode 30 est portée à un potentiel V compris dans une gamme allant de 10

5 à 100 Volts; dans ce cas, les électrodes 28a, ... , 28j sont portées à un potentiel sensiblement égal au potentiel de masse.

Contrairement aux dispositifs de mesure spectroscopique de l'art antérieur pour lesquels on mesure la charge créée par

10 chaque photon individuellement, avec un dispositif conforme à l'invention, on effectue des mesures intégrées dans le temps, autrement dit on mesure la charge collectée par chaque électrode 28a, ... , 28j pendant des durées successives, par exemple de l'ordre de 10 ms .

15

Un exemple de dispositif effectuant cette mesure de charge est représenté sur la figure 2A uniquement pour l'électrode 28j mais on comprend que chaque électrode 28a, ... 28i est connectée à un dispositif de ce type.

20

Les fils de connexion reliant les dispositifs de mesure de charge aux électrodes sont collés par ultrason ou thermiquement. La disposition des électrodes 28a, ... , 28j sur la face latérale 24 permet de réaliser ces connexions sans problème. De plus la face latérale 24 n'étant pas à proximité 25 d'une autre électrode, tout risque de court circuit est éliminé.

Le dispositif de mesure de courant comprend un intégrateur composé d'un amplificateur de courant 34 relié à un condensateur 32. Un interrupteur 37 est connecté aux bornes

30 du condensateur 32.

Un interrupteur 36 permet, quand il est fermé, de charger le condensateur 32, l'interrupteur 37 étant ouvert.

Le condensateur 32 se décharge lorsque l'interrupteur 36 est ouvert, l'interrupteur 37 étant fermé.

35 Le signal correspondant à l'intensité mesurée est délivré en sortie de l'amplificateur.

Sur les figures 2A et 2B, le dispositif représenté possède une face avant 22 receptrice des rayons X et correspondant à un pixel (ce pixel ayant différentes réponses, sélectives en énergie).

5 Cette face rectangulaire peut avoir des dimensions comprises entre 1 et 2 mm pour la largeur et entre 1 et 10 mm pour la longueur.

10 Sur le dispositif représenté sur la figure 3, on utilise la grande longueur de la face avant pour réaliser plusieurs pixels (chacun ayant des réponses sélectives en énergie conformément à l'invention).

15 On voit sur la figure 3 que les électrodes en forme de bandes allongées sont découpées en colonnes électriquement isolées les unes des autres. Ce découpage peut être effectué à la scie à fil ou même par lithographie lors du dépôt de la couche conductrice.

20 On obtient donc des électrodes 28aa, 28ab, ... , 28ba, 28bb, ... en forme de pavé. Ces pavés conducteurs sont donc rangés en lignes, les pavés d'une même ligne possédant la même largeur et en colonnes, les pavés d'une même colonne correspondant au même pixel et étant sensibles aux différentes gammes d'énergie.

25 Dans les exemples de réalisation représentés sur les figures 2A, 2B, 3, l'électrode 30 recouvre totalement la face latérale 26 du bloc semiconducteur 20.

30 La figure 4 représente une autre variante de réalisation où l'électrode recouvrant la face 26 est découpée en colonnes 30a, 30b ... , isolées les unes des autres. On obtient de cette manière autant de pixels que de colonnes.

35 Le dispositif conforme à l'invention permet donc bien d'obtenir des réponses sélectives en énergie en évitant les problèmes de l'art antérieur. En particulier, les électrodes des différents secteurs correspondant aux différentes

gammes ne sont pas en vis à vis ce qui réduit les risques de courts circuits, facilite la réalisation du détecteur et permet des connexions aisées avec les systèmes de mesure associés ainsi qu'avec les générateurs de potentiel.

5

D'autre part, un tel détecteur, par exemple dans la variante représentée sur la figure 3, peut être associé à d'autres détecteurs du même type pour former une barrette de mille pixels environ. Ces barrettes sont utilisées pour effectuer de l'imagerie de contrôle, de surveillance ou d'inspection. On fait défiler un objet soumis à un faisceau de rayons X devant la barrette. Cette dernière délivre un signal correspondant à une ligne de l'image (en fait, à une ligne d'image pour chaque gamme d'énergie détectée). L'image complète est donc reconstituée ligne après ligne.

10

Avec les empilements de l'art antérieur et de connexion électrique, l'encombrement des détecteurs, les difficultés d'assemblage sont autant de problèmes diminuant les performances des barrettes.

20

Les détecteurs conformes à l'invention sont parfaitement adaptés à un arrangement en ligne, tranche contre tranche, les connexions se faisant sur les faces latérales laissées libres.

25

## REVENDICATIONS

1. Détecteur de rayons X à semiconducteur pour l'obtention de réponses sélectives en énergie caractérisé en ce qu'il comprend:
  - 5 - un bloc semiconducteur (20) parallélépipédique comportant une face avant (22) apte à la réception de rayons X, le bloc (20) possédant en outre des première et seconde faces latérales (24, 26) en vis à vis et contigues à la face avant (22), la première face latérale (24) étant recouverte par des électrodes (28a, ... 28j) électriquement isolées les unes des autres en forme de bandes allongées, ces électrodes possédant différentes largeurs et étant rangées par ordre de largeur croissante, l'électrode (28a) de plus faible largeur jouxtant la face avant (22), la seconde face latérale (26) étant recouverte par au moins une électrode (30).
  - 10 2. Détecteur selon la revendication 1 caractérisé en ce que le matériau semiconducteur constituant le bloc (20) possède un numéro atomique effectif, Z effectif, supérieur ou égal à 30.
  - 15 3. Détecteur selon la revendication 2 caractérisé en ce que le matériau semiconducteur est choisi parmi CdTe, CdZnTe, HgI<sub>2</sub>.
  - 20 4. Détecteur selon la revendication 1 caractérisé en ce que les électrodes (28a, ... 28j) en forme de bandes allongées sont découpées en colonnes électriquement isolées les unes des autres.
  - 25 5. Détecteur selon la revendication 1 caractérisé en ce que l'électrode recouvrant la seconde face latérale (26) est constituée de colonnes conductrices (30a, 30b, ... ) électriquement isolées les unes des autres.

1 / 5

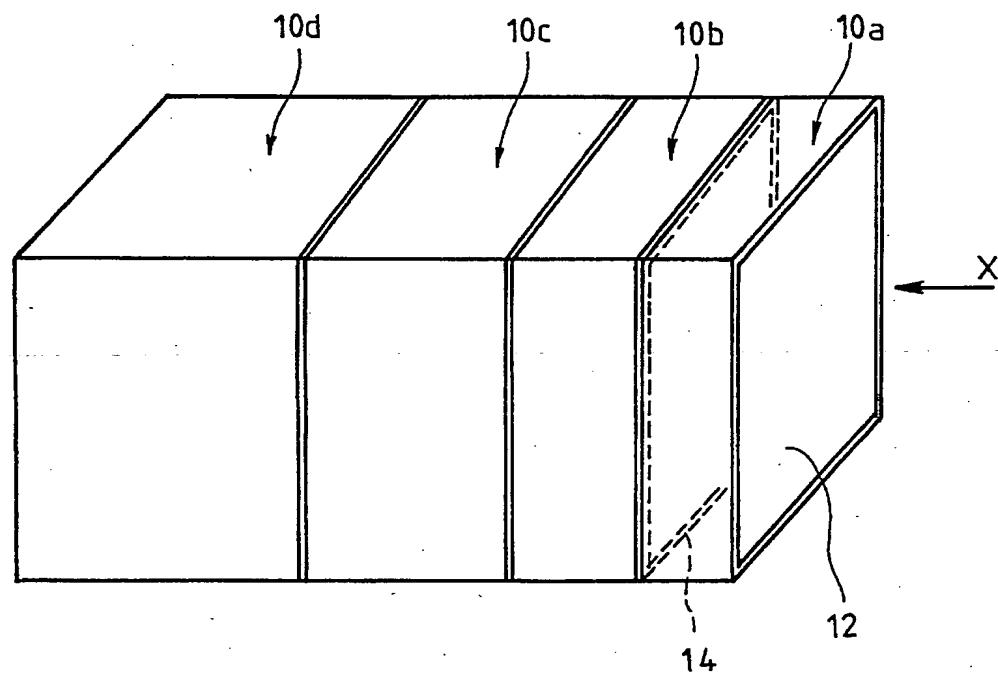
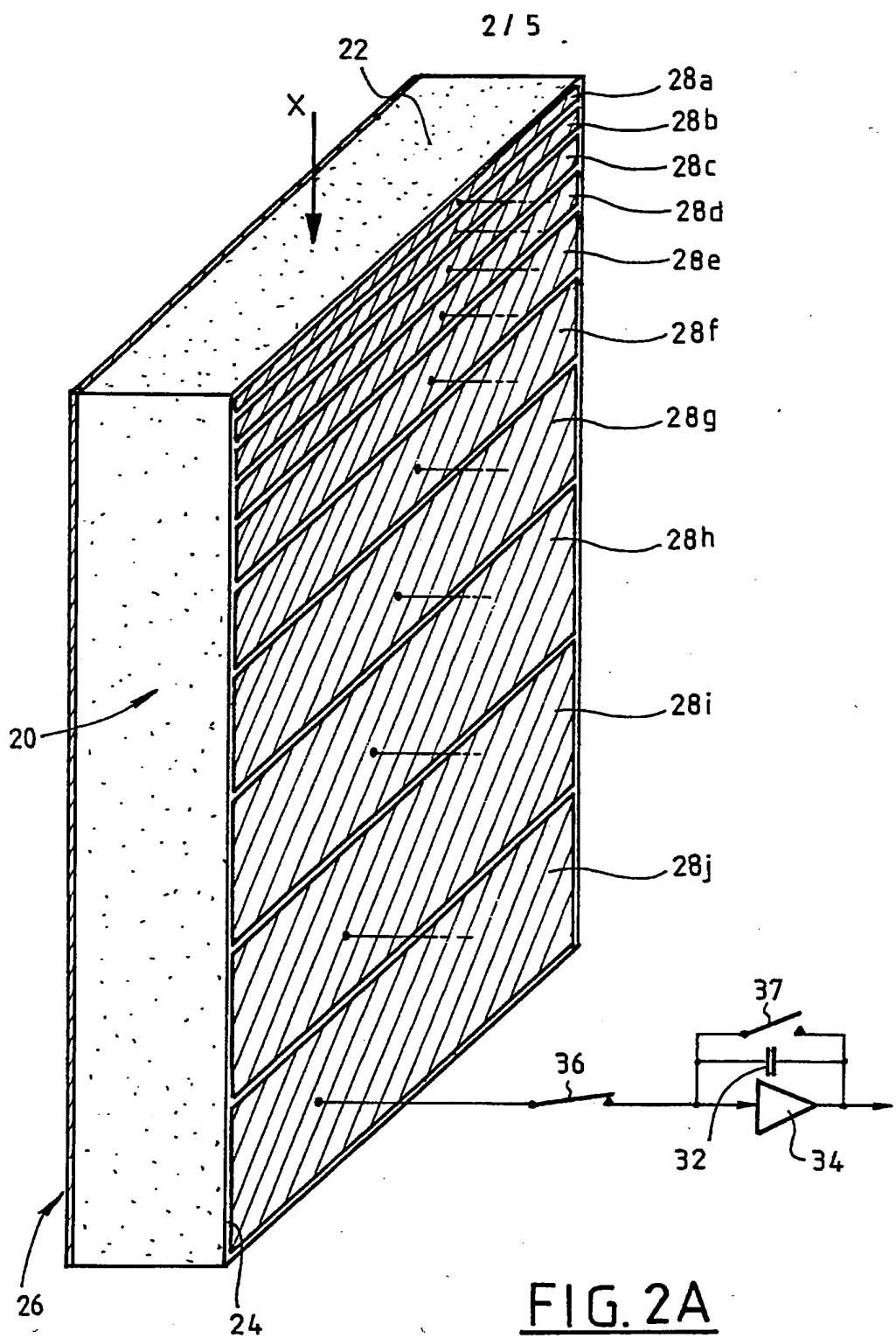


FIG. 1



3 / 5

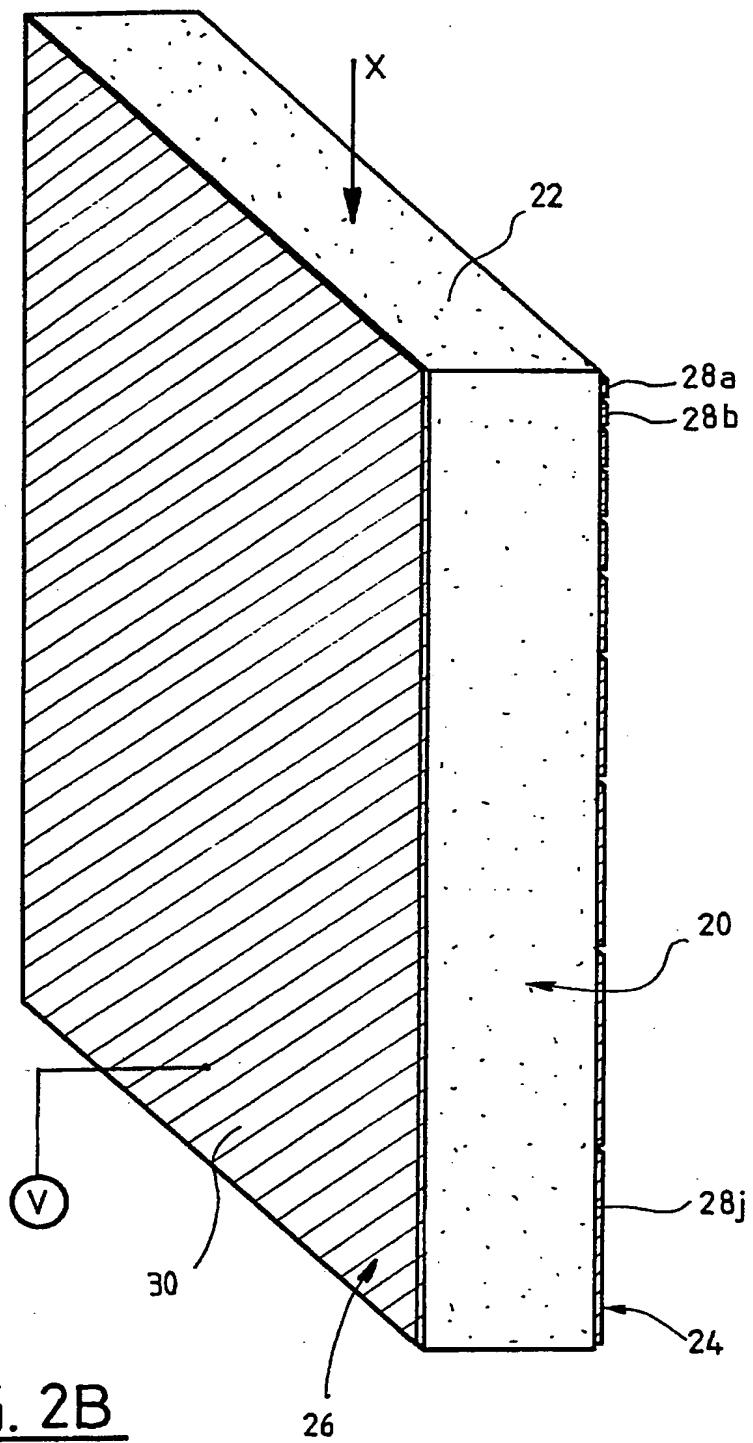


FIG. 2B

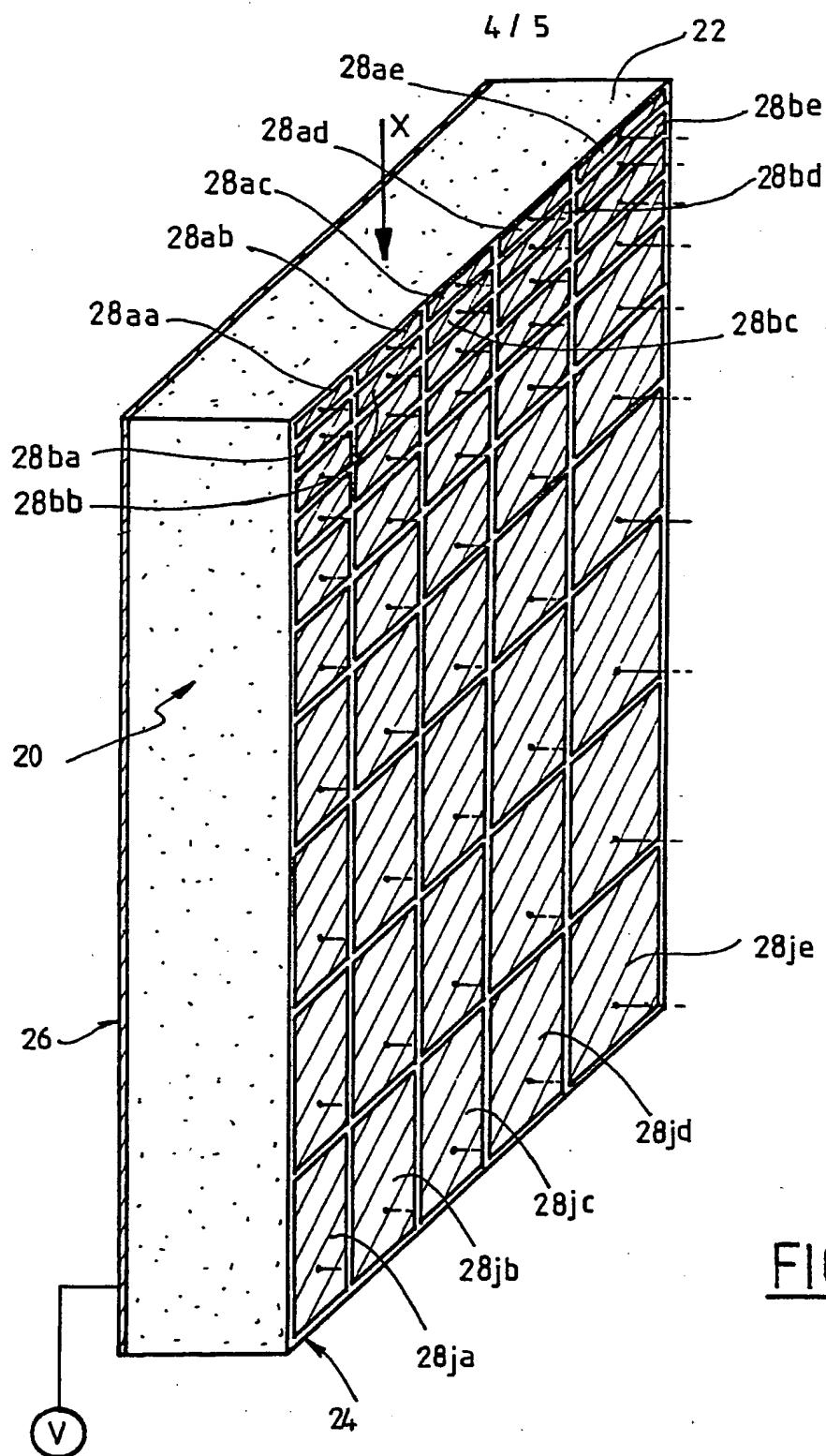
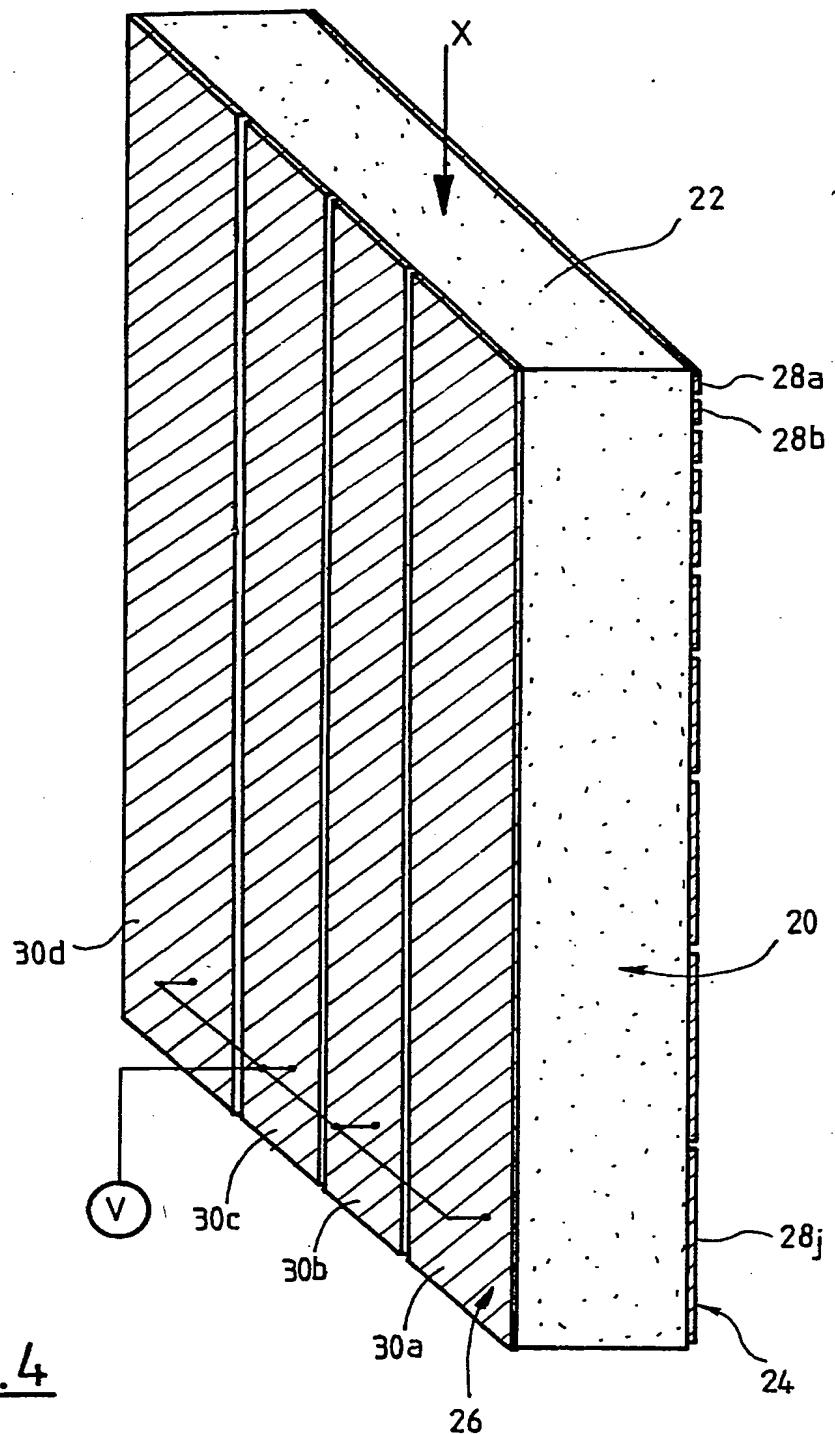


FIG. 3

5 / 5

FIG. 4

REPUBLIQUE FRANÇAISE

2705791

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLERAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIREétabli sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la rechercheN° d'enregistrement  
national  
FA 488341  
FR 9306450

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendications concernées de la demande examinée					
			1, 4	1			
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 9, no. 217 (P-385) 4 Septembre 1985 & JP-A-60 078 376 (MATSUSHITA DENKI SANGYO K.K.) 4 Mai 1985 * abrégé *						
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 041 (P-429) 18 Février 1986 & JP-A-60 187 879 (MATSUSHITA DENKI SANGYO KK) 25 Septembre 1985 * abrégé *						
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 005, no. 017 (P-047) 31 Janvier 1981 & JP-A-55 144 576 (TOSHIBA CORP) 11 Novembre 1980 * abrégé *						
A	US-A-4 937 453 (R.S.NELSON) * revendications 2-12; figure 1 *						
A	NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS IN PHYSICS RESEARCH vol. 215, no. 1/2, Septembre 1983, AMSTERDAM NL pages 213 - 217 Y.NARUSE ET AL. 'SILICON X-RAY SENSORS WITH MODIFIED ELECTRODE STRUCTURES'			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.) G01T			
1							
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur					
9 Février 1994		Van den Bulcke, E					
CATEGORY DES DOCUMENTS CITES							
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non écrite P : document intercalaire							
T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant							